



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 197 15 488 C 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 01 L 41/047  
H 02 N 2/00

21 Aktenzeichen: 197 15 488.3-35  
22 Anmeldetag: 14. 4. 97  
43 Offenlegungstag: –  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 25. 6. 98

DE 197 15 488 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE

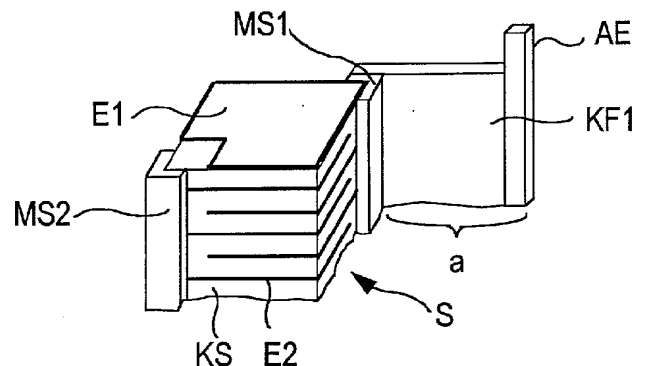
72 Erfinder:  
Schuh, Carsten, Dipl.-Ing. Dr.rer.nat., 85598  
Baldham, DE; Scherer, Clemens, 80469 München,  
DE; Hekele, Wilhelm, Dipl.-Ing. (FH), 83125 Eggstätt,  
DE; Hamann, Christoph, Dr.-Ing., 85551 Kirchheim,  
DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 38 32 658 A1  
DE 33 30 538 A1  
JP 03-4 576 A

54 Piezoaktor mit neuer Kontaktierung und Herstellverfahren

57 Beim Betrieb von Piezoaktoren in Vielschichtbauweise können aufgrund von Spannungen während der Polarisierung oder während des Betriebs des Piezoaktors Risse in den Metallisierungstreifen auftreten, die zur Kontaktierung der Elektrodenflächen außen am Aktor angebracht sind. Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, elektrisch leitfähige Kontaktfahnen so am Stapel direkt oder auf die Metallisierungstreifen aufzubringen, daß ein seitlich überstehender Bereich verbleibt, so daß bei dennoch auftretenden Rissen diese im überstehenden Bereich der Kontaktfahne verlaufen und die Risse elektrisch überbrückt werden. Oben oder seitlich überstehend an den Kontaktfahnen sind elektrische Anschlüsselemente vorgesehen.



DE 197 15 488 C 1

Piezoaktoren bestehen üblicherweise aus mehreren in einem Stapel angeordneten Piezoelementen. Jedes dieser Elemente wiederum besteht aus einer Piezokeramikschi-  
 chte, die beiderseits mit metallischen Elektroden versehen ist. Wird an diese Elektroden eine Spannung angelegt, so reagiert die  
 Piezokeramikschi- chte mit einer Gitterverzerrung, die entlang einer Hauptachse zu einer nutzbaren Längenausdehnung  
 führt. Da diese wiederum weniger als zwei Promille der Schichtdicke entlang der Hauptachse beträgt, muß zur Er-  
 zielung einer gewünschten absoluten Längenausdehnung eine entsprechend höhere Schichtdicke aktiver Piezokera-  
 mik bereitgestellt werden. Mit zunehmender Schichtdicke der Piezokeramikschi- chte innerhalb eines Piezoelementes  
 steigt jedoch auch die zum Ansprechen des Piezoelementes erforderliche Spannung. Um diese in handhabbaren Gren-  
 zen zu erhalten, werden Mehrschichtaktoren hergestellt, bei denen die Dicken von Piezoeinzelementen üblicherweise  
 zwischen 20 und 200 µm liegen.

Bekannte Piezoaktoren in Vielschichtbauweise bestehen daher aus insgesamt bis zu einigen hundert Einzelschichten. Zu deren Herstellung werden Piezokeramikgrünfolien alternierend mit Elektrodenmaterial zu einem Stapel angeordnet und gemeinsam zu einem monolithischen Verbund von bis zu ca. 5 mm Höhe laminiert und gesintert. Größere Aktoren mit größerer absoluter Auslenkung können beispielsweise durch Verkleben mehrerer solcher Stapel erhalten werden. Ausreichend hohe Steifigkeiten, insbesondere wenn mit dem Piezoaktor hohe Kräfte übertragen werden müssen, besitzen nur Piezoaktoren in voll monolithischer Vielschichtbauweise, wie sie zum Beispiel aus der nicht vorveröffentlichten älteren deutschen Anmeldung P 196 15 695 bekannt sind.

Zur elektrischen Kontaktierung solcher Piezoaktoren in Vielschichtbauweise werden beispielsweise Metallisierungsstreifen an der Außenseite des Piezoaktors oder auch in einer Bohrung in der Flächenmitte der Einzelaktoren angebracht. Um beispielsweise jede zweite Elektrodenschicht mit einem der Metallisierungsstreifen zu verbinden, muß dieser gegen die dazwischenliegenden Elektrodenschichten isoliert werden. Dies gelingt in einfacher Weise dadurch, daß jede zweite Elektrodenschicht im Bereich des einen Metallisierungsstreifens eine Aussparung aufweist, in der sie nicht bis zum Metallisierungsstreifen geführt wird. Die übrigen Elektrodenschichten weisen die Aussparungen dann im Bereich des zweiten Metallisierungsstreifens auf, um eine Kontaktierung mit alternierender Polarität zu ermöglichen. Verschiedene Möglichkeiten der alternierenden Kontaktierung solcher Elektrodenschichten sind zum Beispiel aus der DE 38 32 658 A1 bekannt. An die Metallisierungsstreifen sind Drähte für den elektrischen Anschluß angelötet.

Piezoaktoren, deren alternierende Kontaktierung über Aussparungen der Elektrodenschichten erfolgt, sind im Kontaktierungsbereich piezoelektrisch inaktiv, da sich dort durch die jeweils eine fehlende Elektrode kein elektrisches Feld aufbauen kann. Dies hat sowohl bei der Polarisierung als auch beim Betrieb des Piezoaktors zur Folge, daß sich in diesem piezoelektrisch inaktiven Kontaktierungsbereich mechanische Spannungen aufbauen, die zu Rissen in den inaktiven Bereichen und damit auch an den Metallisierungsstreifen parallel zu den Elektrodenschichten führen können. Dies kann zum vollständigen Durchtrennen der Metallisierungsstreifen führen und hat zur Folge, daß bei punktförmiger Spannungszuführung von außen an die Metallisierungsstreifen ein Teil des Piezoaktors von der Stromversorgung abgehängt und damit inaktiv wird. Die Zahl der Risse hängt von der Gesamthöhe des Aktors sowie von der Festigkeit

der Grenzfläche Innenelektrode/Piezokeramik ab und kann sich auch im Dauerbetrieb bei wechselnden Lastbedingungen weiter erhöhen. Da sich beim dynamischen Betrieb außerdem eine dynamische Veränderung der Risse bzw. der Ri-  
 ßöffnungen ergibt, werden dadurch die Metallisierungsstreifen während des Betriebs des Aktors weiter geschädigt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen keramischen Aktor samt Herstellverfahren anzugeben, der eine sichere und gut handhabbare elektrische Kontaktierung besitzt, die eine erhöhte Stabilität gegenüber einer Ri-  
 ßbildung zeigt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Aktor nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sowie ein Verfahren zur Herstellung des Piezoaktors sind weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

Der erfindungsgemäße Aktor kann einen herkömmlichen und vorzugsweise monolithischen Aufbau besitzen. Stapelartig sind alternierend piezoelektrische Keramikschichten und Elektrodenschichten übereinander angeordnet und vorzugsweise zusammen gesintert. Außen am Stapel sind zur alternierenden Kontaktierung der Elektrodenschichten erfindungsgemäß zumindest zwei elektrisch leitende Kontaktfahnen vorgesehen. Diese sind über eine Kante mit den Elektrodenschichten verbunden und erstrecken sich über die gesamte Höhe des elektrisch aktiven Bereichs des Stapels. Seitlich der verbundenen Kante weisen sie einen überstehenden Bereich und im Bereich der vom Stapel wegweisenden Außenkante ein seitlich oder den Stapel in der Höhe überragendes elektrisches Anschlußelement auf.

Mit der Kontaktfahne ist es möglich, eventuell im Betrieb des Aktors auftretende Risse in den Metallisierungen elektrisch leitend zu überbrücken. Wird der überstehende Bereich ausreichend breit gewählt, so laufen die Risse innerhalb der Kontaktfahne bzw. innerhalb des überstehenden Bereichs aus. So bleiben sämtliche Einzelemente des Aktors elektrisch funktionsfähig, selbst wenn Risse an den Metallisierungen auftreten. Der erfindungsgemäße Aktor zeigt daher beim Betrieb keinerlei Leistungseinbußen.

Das Anschlußelement an der Außenkante ermöglicht den einfachen Anschluß der Kontaktfahne an eine externe Strom- oder Spannungsversorgung. Es überragt die Kontaktfahne seitlich oder den Stapel in der Höhe und ist so auch beim Einbau des Stapels in ein Gehäuse noch gut zugänglich und ermöglicht so einen einfachen Stromanschluß.

Ein keramisches Mehrschichtbauelement mit einem das Bauelement überragenden Anschlußelement ist auch aus der JP-3-4576 A bekannt. Zur mechanischen Verstärkung weist das Anschlußelement einen mehrschichtigen, Kunststoff umfassenden Aufbau auf.

In der einfachsten Ausführungsform ist das erfindungsgemäße Anschlußelement aus dem Material der Kontaktfahne hergestellt, bzw. integraler Bestandteil der Kontaktfahne. Diese umfaßt zumindest eine elektrisch leitende Schicht. Vorzugsweise besteht sie jedoch aus einem Verbundmaterial mit mindestens einer Kunststoffolie und mindestens einer metallischen Folie oder Schicht. Ein solches Verbundmaterial weist eine hohe Flexibilität bei gleichzeitig hoher Reißfestigkeit und Elastizität auf. Geometrisch stellt das Anschlußelement eine Verlängerung der vom Stapel wegweisenden Außenkante der Kontaktfahne nach oben oder eine Verlängerung der oberen Kante nach außen beziehungsweise zur Seite dar. Neben dem dadurch erleichterten Anschluß dient das Anschlußelement auch zur leichteren Handhabung der Kontaktfahne bzw. des mit der Kontaktfahne versehenen Aktors, insbesondere während des Einbaus in ein Gehäuse. Dabei können die Anschlußelemente als Führung dienen.

Vorzugsweise ist das Anschlußelement daher so ausgebil-

det, daß es eine zusätzliche mechanische Verstärkung der Außenkante der Kontaktfahne darstellt. In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist das Anschlußelement als metallischer Anschlußstift ausgebildet. Dieser kann auf der Kontaktfahne bzw. auf deren metallischer Schicht aufgelötet oder anderweitig elektrisch leitend befestigt sein. Der Anschlußstift kann sich über die gesamte Außenkante erstrecken oder nur mit einem Teil der Kante verbunden sein.

Mit einem derartig mechanisch verstärkenden Anschlußelement wird die Führung bzw. Handhabung der am Stapel befestigten Kontaktfahne erleichtert.

Das als Anschlußstift ausgebildete Anschlußelement kann zusätzlich Teil einer elektrischen Steckverbindung sein. Dadurch wird eine äußerst einfache Verbindung zu einer elektrischen Spannungsquelle ermöglicht.

Vorzugsweise weist der Aktor an einer Stirnfläche des Stapels eine Druckplatte auf. Diese besitzt Öffnungen, durch die die Anschlußelemente gesteckt oder geleitet werden. Bei mechanisch verstärkten Anschlußelementen sind die Öffnungen so gestaltet, daß eine Führung und Halterung der Anschlußelemente gewährleistet ist.

Vorzugsweise besitzt die Druckplatte eine Ausnehmung zur Fixierung des Stapels darin. Dies ermöglicht einen sicheren Einbau des Stapels einschließlich der Kontaktfahne in ein Aktorgehäuse, wobei der Stapel sicher ausgerichtet und zentriert wird.

In der Druckplatte können noch andere Elemente des Aktors integriert sein, beispielsweise Kraftsensoren, Temperatursensoren, andere Sensoren (z. B. Hallsensoren) oder ein zweiter Aktor als Justierglied für die Steifigkeit, zur Temperaturendeckungskompensation und zur Nullpunktjustierung.

Zum mechanischen Schutz des Stapels im Aktor weist dieser eine Kunststoffumhüllung auf. Dazu ist der Stapel vorzugsweise in eine Kunststoffhülse eingegossen oder mit einem Kunststoff umspritzt. Dafür eignen sich insbesondere Elastomere auf Silikonharzbasis. Der Einbau in die Kunststoffhülse kann dabei mit Hilfe der Druckplatte erfolgen, wobei eine einfache Führung und Fixierung von Stapel, Kontaktfahne und Anschlußelement erreicht wird.

In Längsrichtung des Aktors können beim Eingießen oder Umspritzen mit Kunststoff die anderen bereits oben genannten und den Aktor komplettierenden Elemente mit in die Umhüllung eingebaut werden, sofern sie nicht anderweitig und zum Beispiel in die Druckplatte eingebaut sind.

Im folgenden wird der erfindungsgemäße Aktor sowie ein verfahren zu dessen Kontaktierung anhand von Ausführungsbeispielen und der dazugehörigen neun Figuren näher erläutert.

**Fig. 1** zeigt einen Aktor mit Kontaktfahne und Anschlußelement in schematischer perspektivischer Darstellung.

**Fig. 2** bis **4** zeigen in schematischer Darstellung verschiedene Kontaktfahnen.

**Fig. 5** und **6** zeigen schematische Querschnitte durch erfindungsgemäße Aktoren mit Druckplatte.

**Fig. 7** zeigt im schematischen Querschnitt einen Aktor mit Kunststoffhülse.

**Fig. 8** zeigt in schematischer perspektivischer Darstellung den Einbau eines Stapels in eine Kunststoffhülse.

**Fig. 9** zeigt einen aus mehreren Stapeln aufgebauten Aktor.

**Fig. 1** zeigt ausschnittsweise einen erfindungsgemäßen Aktor, bei dem der Übersichtlichkeit halber nur eine Kontaktfahne KF dargestellt ist. Kern des Aktors ist der Stapel S, der alternierend aus Elektroden-schichten E1, E2 und Keramik-schichten KS aufgebaut ist. Der hier mit quadratischer Grundfläche dargestellte Aktor ist an einander gegenüberliegenden Ecken mit Metallisierungstreifen MS versehen, die

aufgrund der geometrischen Ausgestaltung der Elektroden E mit jeweils jeder zweiten Elektrode verbunden sind, so daß eine parallele Verschaltung sämtlicher einzelner Aktorelemente möglich ist. Am ersten Metallisierungstreifen MS1 ist über dessen gesamte Höhe eine Kontaktfahne KF1 mit einer Kante so befestigt, daß ein Teil beziehungsweise der Rest der Kontaktfahne seitlich am Stapel übersteht. Im Bereich der vom Stapel wegweisenden Außenkante ist ein Anschlußelement AE angeordnet, welches den Stapel in der Höhe oder seitlich überragt. Während die Breite des überstehenden Bereichs a ausreichend gewählt wird, daß während des Betriebs oder der Polung des Aktors auftretende Risse in der Metallisierung und insbesondere in den Metallisierungstreifen MS innerhalb der Kontaktfahne KF auslaufen, ist das Ausmaß, in dem das Anschlußelement AE die Kontaktfahne KF bzw. den Stapel S in der Höhe oder seitlich überragt, von der weiteren Konstruktion des Aktors, dessen Gehäuse oder der weiteren elektrischen Anschlüsse abhängig.

**Fig. 2** zeigt die einfachste Ausgestaltung der Erfindung, bei der Kontaktfahne und Anschlußelement vorkonfektioniert aus einer elektrisch leitenden Folie, beispielsweise einer kupferkaschierten Kunststoffolie ausgebildet sind. Im Bereich ihrer Innenkante weist die Kontaktfahne eine schmale Lotschicht LS auf, mit deren Hilfe ein einfaches Auflöten der Kontaktfolie an die Metallisierungstreifen MS möglich ist. Mit Hilfe der Lotschicht kann die Kontaktfahne alternativ auch ohne Metallisierungstreifen direkt am Stapel beziehungsweise an den Elektroden-schichten befestigt werden.

Ein bevorzugtes und schonendes Verfahren zum Befestigen ist das Laserstrahl-löten, das nur eine minimale Wärmebelastung des thermisch empfindlichen Mehrschichtaufbaus erzeugt.

**Fig. 3** zeigt eine weitere Ausgestaltung der Kontaktfahne KF, die wiederum als Folie mit zumindest einer elektrisch leitenden Schicht ausgebildet ist. Das Anschlußelement AE ist hier als metallischer Anschlußstift ausgebildet, der elektrisch leitend mit der Kontaktfahne KF im Bereich einer Außenkante verbunden und beispielsweise aufgelötet ist. Der Anschlußstift weist beispielsweise einen runden Querschnitt auf.

**Fig. 4** zeigt eine weitere mögliche Ausgestaltung der Kontaktfahne KF, bei der das Anschlußelement AE eine seitliche Verlängerung der Kontaktfahne darstellt. Es kann wie in der Figur dargestellt mit einem metallischen Anschlußstift verbunden sein und so ein kombiniertes Anschlußelement bilden.

In allen Fällen wird die Kontaktfahne KF vor dem Befestigen an den Metallisierungen oder direkt am Stapel fertig konfektioniert, das heißt, mit Anschlußelementen AE und gegebenenfalls der Lotschicht LS versehen.

Während des Auflötens oder der anderweitigen elektrisch leitenden Befestigung der Kontaktfahne an den Metallisierungen werden diese elektrisch kurzgeschlossen, um eine Beschädigung des zum Beispiel piezoelektrischen Aktors über den pyroelektrischen Effekt zu vermeiden. mit derselben Maßnahme werden auch bei späteren Verarbeitungsschritten Beschädigungen immer dann vermieden, wenn thermische Belastungen des Stapels zu erwarten sind.

**Fig. 5** zeigt ein Teilmodul des Aktors, bestehend aus dem mit Kontaktfahnen KF versehenen Stapel S und einer Druckplatte DP, die Durchführungen DF für die Anschlußelemente AE aufweist. Insbesondere bei mechanisch verstärkten Anschlußelementen, beispielsweise den metallischen Anschlußstiften, dienen die Durchführungen DF zur Führung und Halterung sowohl der Anschlußelemente als auch der damit verbundenen Kontaktfahne KF. Die Druckplatte DP ist über einer Stirnfläche des Stapels S angeordnet

und weist beispielsweise zur Fixierung des Stapels eine der Stirnfläche angepaßte Vertiefung von ca. 50 bis 100 µm Tiefe auf. Mit diesem Teilmodul wird die Weiterverarbeitung, beispielsweise der Einbau in ein Aktorgehäuse erleichtert, da durch die Fixierung von Stapel S, Kontaktfahne KF und Anschlußelementen AE in der Druckplatte DP die Ausrichtung und Zentrierung des Aktors, die für eine optimale Übertragung der Kräfte erforderlich ist, erleichtert wird.

**Fig. 6** zeigt ein abgewandeltes Teilmodul mit gemäß **Fig. 4** ausgestalteten Kontaktfahnen KF und Anschlußelementen AE. Wie in **Fig. 5** sind auch hier die Anschlußelemente in Durchführungen DF und der Stapel S in einer Ausnehmung der Druckplatte fixiert. In dieser Ausgestaltung ist es möglich, die Kontaktfahnen zunächst ohne Anschlußelemente AE an den Metallisierungstreifen des Stapels S zu befestigen und dafür die Druckplatte DP fest mit den Anschlußelementen AE zu verbinden. Eine elektrisch leitende Verbindung der Anschlußelemente mit den Kontaktfahnen wird in dieser Ausführungsform nach dem Zusammenfügen von Druckplatte und Stapel vorgenommen, beispielsweise durch Löten. Diese Ausführung hat den Vorteil, daß Druckplatte und Anschlußelemente eine feste Einheit bilden, die beispielsweise gleichzeitig als Steckkontakt zur Verbindung mit einer Strom-/Spannungsquelle dienen können. Die Abdichtung der Durchführungen kann ohne Rücksicht auf eine mechanische oder thermische Belastung des Aktors vorgenommen werden und kann so besonders dicht ausgeführt sein.

**Fig. 7:** Das Teilmodul aus Druckplatte, Anschlußelementen, Kontaktfahnen und Stapel wird zur elektrischen Passivierung und zum mechanischen Schutz mit einer Umhüllung versehen. Im Ausführungsbeispiel ist dazu eine Hülse H vorgesehen, die zum Beispiel aus Kunststoff oder Metall besteht, die der Größe des Teilmoduls angepaßt ist und die mit der Druckplatte dicht abschließt. In diese Hülse H wird das Teilmodul eingesteckt und anschließend über eine freibleibende Öffnung mit Kunststoff K, beispielsweise einem Silikonelastomer vergossen oder umspritzt. Dabei werden sowohl sämtliche elektrisch aktiven Oberflächen des Stapels und der Kontaktfahnen elektrisch und von Umwelteinflüssen isoliert, als auch eine mechanisch feste Verbindung zwischen Hülse H, Druckplatte DP und Stapel S hergestellt. Bei einer aus Kunststoff bestehenden Hülse H bleibt dabei die untere Stirnfläche des Stapels frei, da mit der vorzugsweise keramischen Stirnfläche des Stapels eine bessere Kraftübertragung als mit der Hülse möglich ist.

Vor dem Eingießen oder Einspritzen des Teilmoduls in eine Hülse ist es möglich, die elektrisch aktiven Oberflächen des keramischen Mehrschichtstapels S zusätzlich zu passivieren, insbesondere durch Auftrag einer elektrisch isolierenden ausreichend elastischen Kunststoffmasse, beispielsweise wiederum einem Silikonelastomer. Die Passivierung wird durch die Halterung der Kontaktfahne über die in der Druckplatte fixierten Anschlußelemente erleichtert. Außerdem verhindert die Passivierung, daß durch die beim Umspritzen oder Vergießen auftretenden und auf die Kontaktfahnen KF einwirkenden mechanischen Kräfte ein Kurzschluß zwischen einer Kontaktfahne und einem elektrisch aktiven Oberflächenbereich des Stapels erfolgt, der zu einer Fehlfunktion des Aktors führen könnte.

Erfolgt der Auftrag der Passivierung vor der Herstellung eines Teilmoduls aus Stapel und Druckplatte, so können die flexiblen Kontaktfahnen KF dabei anderweitig über die Anschlußelemente AE fixiert werden, so daß die Passivierung, beispielsweise durch Pinselauftrag, erleichtert wird. Dazu können die Anschlußelemente und gegebenenfalls auch der Stapel in einer Halterung fixiert werden. Die Passivierung der Stapeloberflächen vor dem Zusammenfügen des

genannten Teilmoduls hat den Vorteil, daß die Kontaktfahnen KF nun vor der Weiterverarbeitung enger am Stapel angeordnet und beispielsweise auch angelegt werden können. Damit wird eine raumsparendere Anordnung in einer Hülse H möglich. Ein Stapel mit an den Seitenflächen anliegenden Kontaktfahnen ist mechanisch stabiler und zusätzlich vor mechanischen Beschädigungen während des Einbaus in die Hülse oder in ein Aktorgehäuse geschützt. In einer Ausgestaltung der Erfindung ist es möglich, die Kontaktfahnen an die Seitenflächen des Stapels anzudrücken und dort zu fixieren, beispielsweise durch einen elastischen Kunststoffring, der über den Stapel samt anliegenden Kontaktfahnen und Anschlußelementen geschoben wird und Kontaktfahnen und Anschlußelemente eng an den Stapel andrückt.

**Fig. 8** zeigt eine weitere Ausgestaltung der Erfindung, mit der ein sicherer Einbau des Stapels samt Kontaktfahne und Anschlußelemente in eine Kunststoffhülse H möglich ist. Die Kunststoffhülse ist dabei nicht als leerer Hohlzylinder ausgebildet, sondern weist bereits ein Innenprofil auf, das der geometrischen Form von Stapel, Kontaktfahne und Anschlußelementen angepaßt ist. Nach dem Einbringen des Stapels in das vorgebildete Innenprofil der Hülse H (siehe Richtungspfeil b) sind sowohl Stapel als auch Kontaktfahnen und Anschlußelemente ausreichend fixiert. Beim nun folgenden Auffüllen mit Kunststoff der verbleibenden Zwischenräume zum Innenprofil wird so eine Beschädigung der Kontaktfahnen bzw. ein ungewollter Kurzschluß zwischen Kontaktfahnen und gegebenenfalls freiliegenden elektrisch aktiven Oberflächen des Stapels vermieden. Auch in dieser Ausführung können sowohl die Anschlußelemente AE als auch der Stapel S in einer Halterung, beispielsweise einer Druckplatte DP (in **Fig. 8** nicht dargestellt) fixiert sein, um sowohl ein leichteres Einbringen des Stapels in die Hülse H zu ermöglichen, als auch eine einseitig hermetisch dichte Versiegelung des Stapels in der Hülse zu ermöglichen.

**Fig. 9** zeigt eine weitere Ausgestaltung der Erfindung, die mit sämtlichen bereits beschriebenen Darstellungen kombiniert werden kann. Diese umfaßt einen aus zwei übereinander angeordneten Stapeln S, S' bestehenden Mehrschichtaufbau, bei dem die Stapel S und S' mittels gemeinsamer Kontaktfahnen KF verbunden und damit gegeneinander fixiert sind. Mechanisch verstärkte Anschlußelemente AE, beispielsweise metallische Anschlußstifte stabilisieren die Anordnung zusätzlich. Auf diese Weise ist es möglich, aus technologisch einfacher herzustellenden niedrigen Stapeln dennoch die nötige Gesamthöhe an Mehrschichtaufbau und damit an möglicher Auslenkung des Aktors zu erreichen, und dabei eine einfache und elegante Verbindung der beiden Teilstapel S, S' zu erzielen. Halterung kann auch hier zur frühzeitigen Zentrierung von mehreren Stapeln übereinander dienen, wobei letztere bereits an einer Druckplatte angeordnet und ausgerichtet werden können. Damit wird die Laserstrahl-lötung der gemeinsamen Kontaktfahnen KF an die Stapel S und S' vereinfacht und die Zentrierung der Stapel beim Spritzguß erleichtert.

#### Patentansprüche

##### 1. Keramischer Aktor

- mit einem Mehrschichtaufbau, umfassend zumindest einen Stapel (S) alternierender Elektroden- (E) und Keramiksichten (KS)
- mit zumindest zwei streifenförmigen elektrisch leitenden Kontaktfahnen (KF), die über jeweils eine ihrer Kanten seitlich an dem Stapel angebracht sind,
- wobei die Elektroden-schichten alternierend elektrisch leitend mit einer Kante zumindest einer

- der Kontaktfahnen (KF) verbunden sind  
 – wobei die Kontaktfahnen (KF) seitlich dieser Kante einen überstehenden, vom Stapel wegweisenden Bereich (a) aufweisen  
 – mit einem, die Kontaktfahne seitlich oder den Stapel in der Höhe überragenden, elektrischen Anschlußelement (AE) auf jeder Kontaktfahne im Bereich der vom Stapel wegweisenden Außenkante der Kontaktfahne.
2. Aktor nach Anspruch 1, bei dem das Anschlußelement (AE) einen metallischen Anschlußstift umfaßt, der die Außenkante der Kontaktfahne (KF) mechanisch verstärkt und sich entlang der Außenkante über deren gesamte Höhe erstreckt.
3. Aktor nach Anspruch 1 oder 2, bei dem das Anschlußelement (AE) eine streifenförmige Verlängerung der Kontaktfahne umfaßt, die mit metallischen Anschlußstiften verbunden ist.
4. Aktor nach Anspruch 2 oder 3, bei dem eine Druckplatte (DP) über einer Stirnfläche des Stapels (S) angeordnet ist, durch die die Anschlußstifte (AE) gesteckt und dort fixiert sind.
5. Aktor nach einem der Ansprüche 2 bis 4, bei dem die Anschlußstifte (AE) als Steckkontakt ausgebildet sind.
6. Aktor nach Anspruch 4, bei dem in der Druckplatte (DP) eine Ausnehmung vorgesehen ist, in der der Stapel (S) fixiert ist.
7. Aktor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem Stapel (S) und Kontaktfahnen (KF) in einer kompakten Kunststoffumhüllung allseitig mit Kunststoff (K) umspritzt oder vergossen sind, und bei dem die elektrischen Anschlußelemente (AE) stirnseitig aus der Kunststoffumhüllung (H) herausgeführt sind.
8. Aktor nach Anspruch 7, bei dem die Kunststoffumhüllung aus einem Silikonelastomeren (K) ausgebildet ist.
9. Aktor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem mehrere Stapel (S, S') übereinander angeordnet und mit gemeinsamen Kontaktfahnen (KF) verbunden sind.
10. Verfahren zur Herstellung eines keramischen Aktors mit Mehrschichtaufbau,  
 – bei dem ein den Mehrschichtaufbau bildender Stapel (S) aus alternierenden Elektroden- und Keramiksichten (E1, KS, E2) hergestellt wird,  
 – bei dem aus einer Folie, die zumindest eine elektrisch leitende Schicht umfaßt, in der Größe der Höhe des Mehrschichtaufbaus angepaßte Kontaktfahnen (KF) gefertigt und darin im Bereich einer Kante elektrische Anschlußelemente (AE) vorgesehen werden, die die Kontaktfahne seitlich oder den Mehrschichtaufbau in der Höhe überragen,  
 – bei dem zumindest zwei Kontaktfahnen über eine Kante seitlich so an dem Stapel (S) befestigt werden, daß ein seitlich überstehender Bereich (a) verbleibt, wobei ein elektrisch leitender Kontakt zu den Elektrodenschichten hergestellt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem der Stapel (S) zur Kontaktierung der Elektrodenschichten seitlich mit zumindest zwei streifenförmigen Metallisierungen (MS) versehen wird und bei dem die Kontaktfahnen an den streifenförmigen Metallisierungen befestigt werden.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, bei dem das Befestigen durch Laserlöten erfolgt.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, bei dem als Anschlußelemente (AE) Metallstifte vorgese-

hen werden, die vor dem Befestigen der Kontaktfahnen (KF) im Bereich der dem Stapel gegenüber liegenden Kante auf den Kontaktfahnen aufgelötet werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, bei dem die elektrisch aktive Oberfläche des Stapels (S) nach dem Befestigen der Kontaktfahnen (KF) mit einer elektrisch isolierenden organischen Passivierungsschicht so abgedeckt wird, daß von den Kontaktfahnen zumindest die Anschlußelemente (AE) und vom Stapel (S) die Stirnflächen frei bleiben.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, bei dem der Stapel (S) nach dem Befestigen der Kontaktfahnen (KF) in eine Kunststoffhülse (H) geschoben und mit Kunststoff (K) so vergossen oder umspritzt wird, daß die Enden der Anschlußelemente (AE) frei bleiben.

16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem eine Druckplatte (DP) mit Durchführungen (DF) vorgesehen wird, durch die die Anschlußelemente (AE) geführt werden, bei dem der Stapel (S) in der Druckplatte (DP) fixiert und anschließend in der Kunststoffhülse (H) vergossen oder umspritzt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16, bei dem zwei Stapel (S, S') übereinander angeordnet, mit gemeinsamen Kontaktfahnen (KF1, KF2) versehen und so zu einem Doppelstapel verbunden werden.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

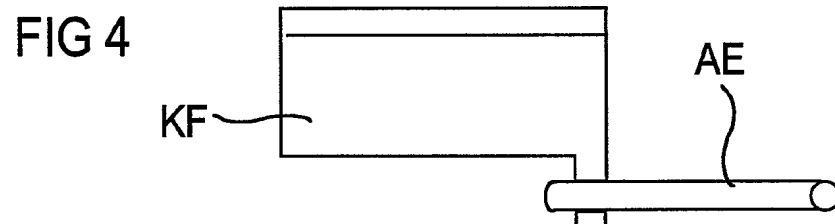
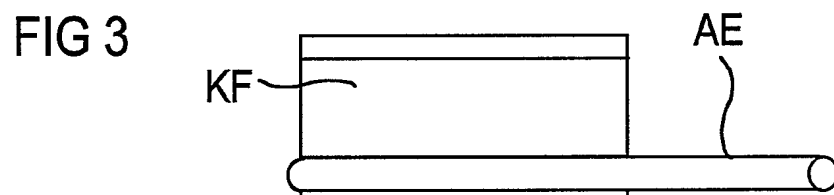
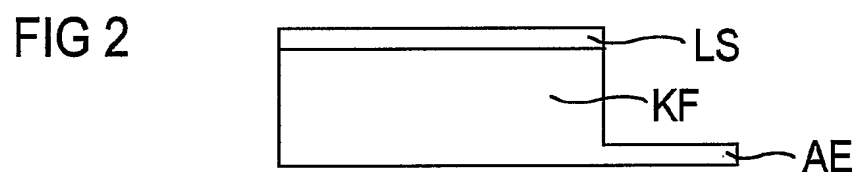
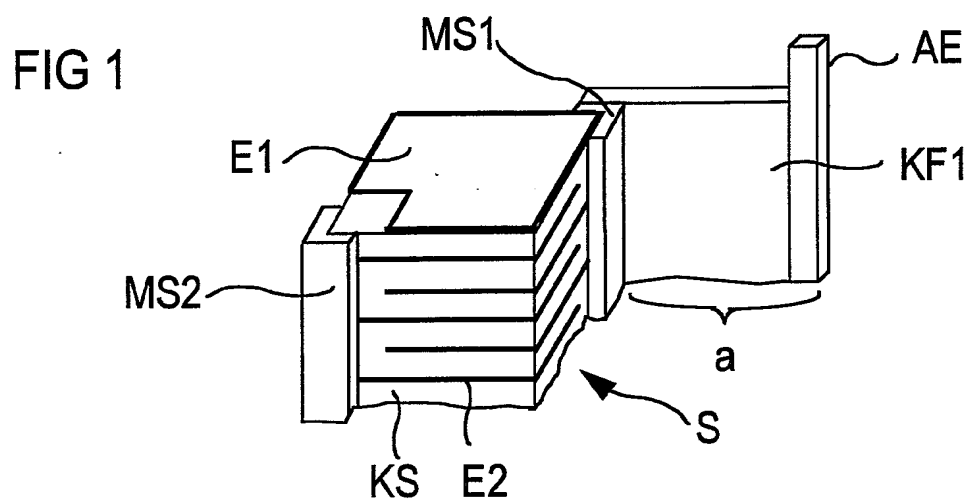


FIG 5

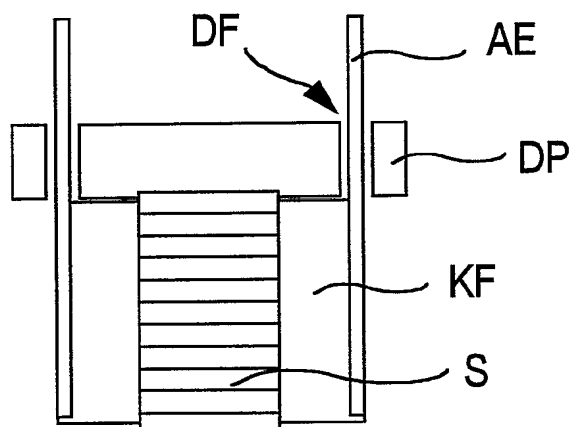


FIG 6

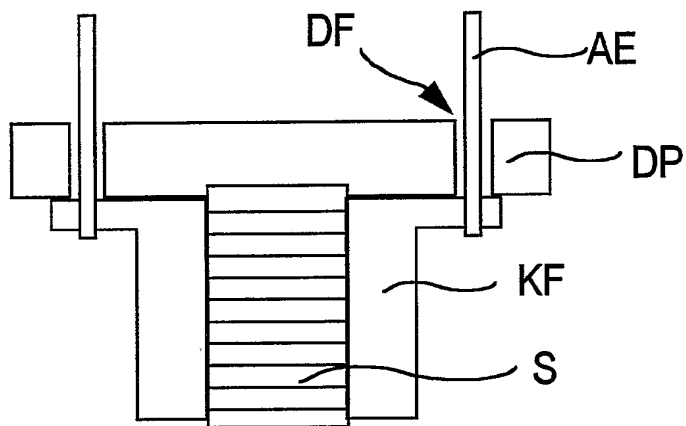
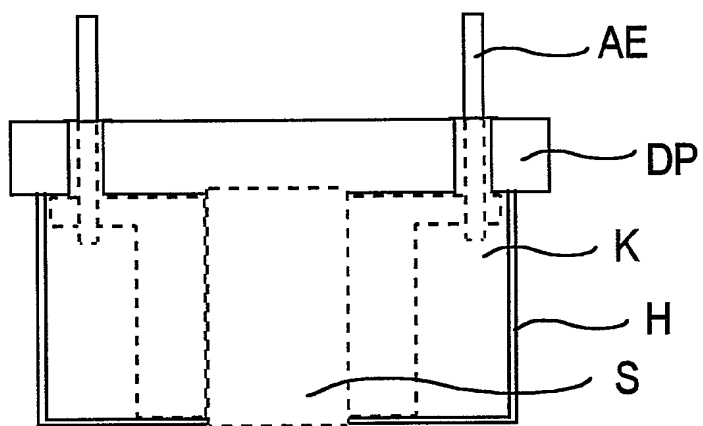
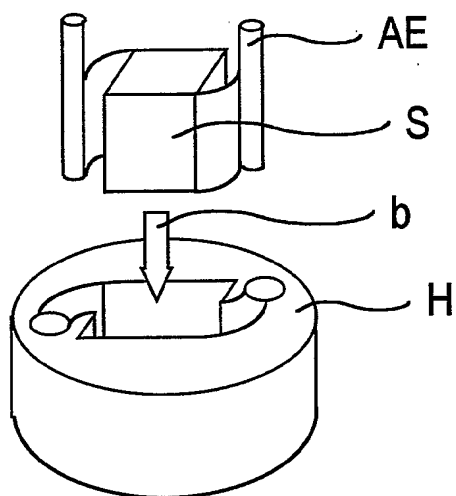


FIG 7



**FIG 8**



**FIG 9**

